

熊本工業大学 正会員 谷 野 早
熊本工業大学 正会員 橋 村 隆 介

1. まえがき

鉄筋コンクリート短柱の帯鉄筋についての力学的効果は、現在でも不明な点を残して、土木学会および建築学会のこの点についての仕様内容にも微かな解釈の相違を残している。

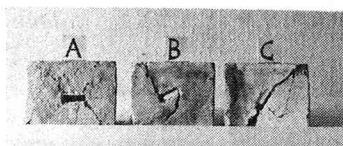
荷重を受けたコンクリートは、非線形の変形挙動をするがこれは回復性および非回復性の両変形が混在するからで、一般に後者を塑性変形と簡単にいっている。これはコンクリート内のひびわれと原子間の転位の両者によって生ずる。われわれはまずこのひびわれを実験的に確かめ、同時に原子間の転位がいかなる機構で行なわれるのかについても考えてみた。

一般に初期のひびわれはコンクリート内の欠陥個所に応力が集中してひずみエネルギーの蓄積となり、これを解放するとき生ずるか、または発生する応力円がモールの包絡線を切るときに生ずる。また純せん断のときはその最大値が包絡線に達したときに生ずる。しかし以上の説からは、発生したひびわれがその過程においてすべての方向を逐次曲げながら終局荷重に平行な方向に転位していく実験事実を説明できない。コンクリートは、硬いが反面粘着抵抗に乏しいぜい性に富む材料ともいえる。更に強圧下では、この性質が強化されて内部の欠陥に非常に敏感な一種の結晶構造とみなされる状態になり、終局はぜい性破壊と考えられる。

以上が解決されて始めて圧縮力を受けける短柱が多数の細分化された柱状態の集合となることが理解され、帯鉄筋の効果と論じうるのであろう。

2. 実験概要

- 1). 圧縮試験： 本実験は JISA1108 に準じた $15 \times 30 \text{ cm}$ の円柱供試体の圧縮試験と $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ のモルタル六面供試体の圧縮試験である。円柱供試体試験で特に留意したことは、せん断力を極力軽減するために供試体上下面に、東レシリコングリースを塗付した厚さ 0.2 mm のビアラバーを置き圧縮試験を行った。またモルタル供試体は、写真～1のような供試体中央部に水平となす角 0° , 30° および 60° 傾斜をもたせたスリットを作り圧縮試験を行った。



(写真～1)

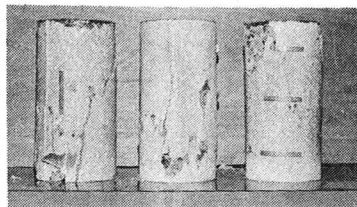
モルタル圧縮試験
配合 1:2

A. 断面 $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 水平スリット $10 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$

B. 断面 $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 30° 傾斜 $10 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$

C. 断面 $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 60° 傾斜 $10 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$

- 2). ひずみ測定： この測定方法は、写真～2のように上下面約 5 cm の位置と中心位置にひずみゲージを接着した。また中央には水平ひずみゲージと直角となすようにもう一つのゲージを接着した。測定器としては、通常用いられている静ひずみ測定器とスイッチボックスによった。読み取り方法は、所定の強度のとき載荷を一時固定し、各数値を読み取った。特に、ひずみ変化量をとらえながら終局強度付近では、圧縮強度変化を小さくした。



(写真～2)

コンクリート破壊試験

配合 1:2:4 W/C 0.57

- 3). フラックの検出： 円柱供試体の終局強度を決定し、その終局強度に対する任意の応力を与えた供試体とダイヤモンドカッターで薄くスライスした。そのスライスした試験片を湿潤状態に保ち、そのとき分散剤を加えた黒

A体 下側の垂直ひびわれで破壊

B体 真半分にした垂直ひびわれで破壊

C体 上側の垂直ひびわれで破壊

インクを試験片表面に塗り、乾燥後表面を研磨した。次に、ニコン万能投影顕微鏡を用いて試験片表面を固定スクリーンに20倍に拡大、投影し、それを写真へ3に撮った。

3. コンクリートのひびわれとぜい性破壊

コンクリートは、圧縮を受けると応力集中のためある条件下でひびわれを呼ぶ。そしてその後、ぜい性破壊へと発展する。

一般に、コンクリートは砂、砂利およびセメント水和物の混和物で、おのおのは各鉱物から成り立っていると同時に、いろいろな欠陥と内蔵している不均等質なものである。しかし鉱物や欠陥の分布は、偶然的なものであるから微視的には不均等であつても巨視的には均等質ともいえる。だから破壊現象などは極めて敏感に影響を受ける。

更に強圧下のコンクリートは、ほとんど非回復性のみを主張する事実、また元素が粘着性に乏しいぜい性材料にある事実などを考え合わせるとぜい性破壊という現象は、この不均等質に大変大きく反した結果だと考えねばならない。このぜい性破壊が塑性流動によって起こるものとするれば、コンクリートは一種の結晶体とみなされ、同時に結晶内部には最大密度面の間の切れ目によって表わされる潜在欠陥がありうるのだから、転位ループはこの面上で延性ひびわれと共働しながら大きく発展する。何故なら、この面での転位ループの形成が最小ポテンシャルエネルギーの消費で遂行できるからである。そして最終点にはこの面で塑性流動を起こしてぜい性破壊を起すと思われる。

4. コンクリートの破壊過程

1) 第1段階 延性破壊の状態

コンクリートの破壊は、内部欠陥に対して敏感である。この欠陥周辺に集中した応力は、ひずみエネルギーを蓄積し、一定条件下ひびわれで解放される。しかし載荷を増加せざる限りひびわれの伸長はないわけだから、これは延性破壊状態にあるとしてよいであろう。

2) 第2段階 延性破壊と転位挙動の相互作用の状態

引続き載荷は増加するから延性ひびわれも伸長を続けるであろうが、この段階では、コンクリートの変位はほとんど非回復性で占められる状態になっている。この結果、このひびわれに沿って転位ループが活発に形成されるのではあるまいか。また同時にひびわれを最大密度面の間の切れ目すなわち内部組織の弛む時期または容積ひずみが減少から急増に転化する時期に対応するのではあるまいか。

3) 第3段階 ぜい性破壊の状態

この段階では、転位ループの大きさが限度に達し塑性流動というぜい性破壊が起こす。このときは潜在的破壊面すなわち最大密度面の間の切れ目の面に沿い原子が最も密に配列している方向に広がるわけだ。これは破壊が最小エネルギー損失で遂行できる過程と見る結果ともいえる。また、強圧下で縦には縮むが横には自由に伸びうる状態にあるから原子が最も密に配列している方向は、載荷方向と一致するわけである。

5. 実験結果と考察

1) 微敏ひびわれと非回復性変形

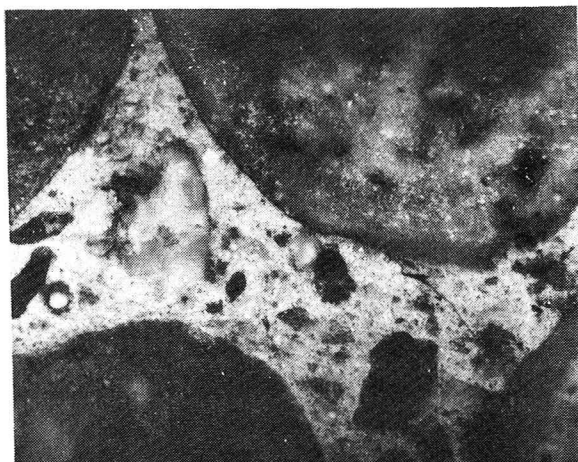


写真-3 20倍拡大投影写真

圧縮試験結果は、試料ごとに容積ひずみおよびポアソン比が相当な範囲に変動した。このうち容積ひずみが最大値を示した場合を図-1に示した。これにより微細ひびわれと非回復性との間には密接な関係が応力の初期段階はともかくとして、中期以後に実験により確かめられた。

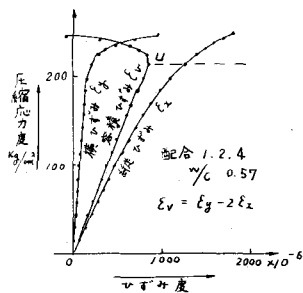


図-1 容積ひずみ曲線

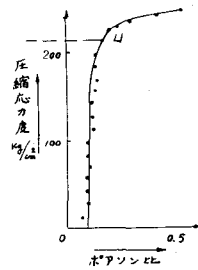


図-2 ポアソン比曲線

2) 変形特異点

コンクリートを圧縮すると、当初は容積と減少するがある応力点（われわれの実験では終局強度の約80%）を境にして逆に増加しはじめる。またポアソン比図-2もこれに対応して急増する。

コンクリートが容積膨張を招めるのは、非回復性変形の急増すなわちひびわれの増大と構成分子の転位がある限界に達したことを意味し、内部組織の弛緩を示すものと受けとれる。またこの状態の拡大写真が、写真へ3である。これによりひびわれが粗骨材の周辺部から先ず発生しモルタル部を貫通して、隣りの粗骨材周辺のひびわれと連絡している姿が看取できる。

3). 破壊方向

写真へ1に示すようなスリットのある供試体のひびわれは、第1の段階すなわち延性破壊の場合では、斜め方向をとり伝播方向も大きくない。第2段階すなわち延性破壊と転位との共働作用の場合では、荷重の増大とともに伝播速度も加速され、拡大した転位ループと共同作用して、その方向と垂直方向に曲げはじめる。そして第3の段階すなわち塑性流動によるぜい性破壊では、そのにり方向と載荷方向に一致させる。これらの結果が写真へ2に示されているが、特にB体は中央で美事に縦に割れている。

6. むすび

- 1). コンクリートは一般に大小さまざまな欠陥を持っているが、その内特に粗骨材下側のフリージング個所が顕著である。そして破壊はこれに敏感に反応する。それはミニに応力が集中してGriffithによればこのためひずみエネルギーを蓄積し、これが解放するためひびわれが生ずる。またMohrによれば応力円が包絡線を切るときひびわれが生ずると説かれている。そして、一度ひびわれを生ずると総伸する傾向を持っている。
- 2). コンクリートは弾性体であるが応力の増大に伴ない塑性的性質を顕著にある。同時に元来粘着力に乏しいぜい性材料でもある。このため最終的にはぜい性破壊をなし、しかもそれが載荷方向と一致する破壊面を現出する。この結果、柱は縦方向に多数の細分割された柱状態の集合となり、おのおのが長柱化して座屈で崩壊する。
- 3). これを防止するには、帯鉄筋とその直径にはあまり関係なく、なるべく密に配置するよりほかに方法がないようである。この点に關する土木学会の示方書では、この間隔を柱の最小横寸法以下または軸方向鉄筋の直径の12倍以下、帯鉄筋48倍以下の内何れか最小の値を採用するようにと規定されている。しかし最初の柱の最小横寸法以下との規定は、今までの実験結果からみて十分な根拠があるとは思われないうし、また最後の帯鉄筋直径の48倍以下の規定も、実験結果からえられた数値とは思うがやはり問題があるように思われる。何故なら、コンクリートが細分割されて長柱化する傾向は、帯鉄筋同様に直接影響を受けるが、その鉄筋柱には間接にしか影響を受けないうからである。帯鉄筋の間隔はその直径にあまり拘束されず出来るだけ短縮するのがよいようである。この意味で建築学会の一律に15cm以下と定めた規定の方がより合理的と思える。